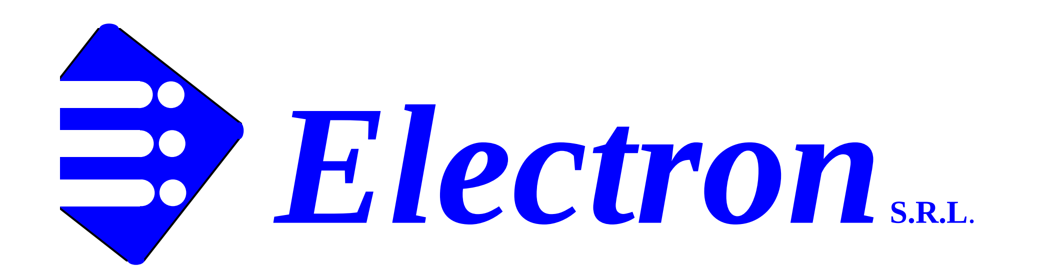


Design
Production &
Trading of
Educational
Equipment

B3510-I – APPLICATIONS DE TRANSDUCTEURS A ULTRASONS

MANUEL D'INSTRUCTIONS POUR L'ETUDIANT

Electron S.R.L. - MERLINO - MILAN ITALIE Tel (++ 39 02) 90659200 Fax 90659180
Web – www.electron.it, e-mail – electron@electron.it

B3510-I_06_04.DOC 06/2004

SOMMAIRE

1 – GENERALITES

Ce module didactique comprend des dispositifs et des blocs de circuit pour effectuer des expériences intéressantes avec les Ondes Ultrasoniques.

Caractéristiques en détail:

- Un micromodule accessible à distance avec émetteur à ultrasons et un générateur pertinent, de fréquence réglable
- Récepteur d'ultrasons et amplificateur c.a.
- Filtre actif passe-bande
- Détecteur de passage à Zéro et circuit de mise en forme pour le signal reçu (régénérateur)
- Mélangeur du signal régénéré au signal original pour produire des battements (détecteur de phase)
- Détecteur de crête pour les ondes déphasées
- Comparateur à seuil avec hystérésis variable
- Pilote du relais verrouillable.

Les sujets d'expérience et d'étude permis par ce module sont:

- Génération, réception, propriétés des ondes US
- Mesure de déphasage
- Utilisation des ondes US pour mesurer les distances
- Utilisation des ondes US pour établir un système de radar à effet Doppler
- Détection de mouvement, de vibration et de présence, au moyen des ondes US
- Système d'alarme anti-intrusion à ondes US.

Le module a besoin d'une alimentation stabilisée à +15/-15V, comme l'alimentation B3510-BU.

2 – DESCRIPTION DU SYSTEME

Voir la fig.1 pour une vue d'ensemble de ce module didactique et la fig.2 pour son schéma détaillé.

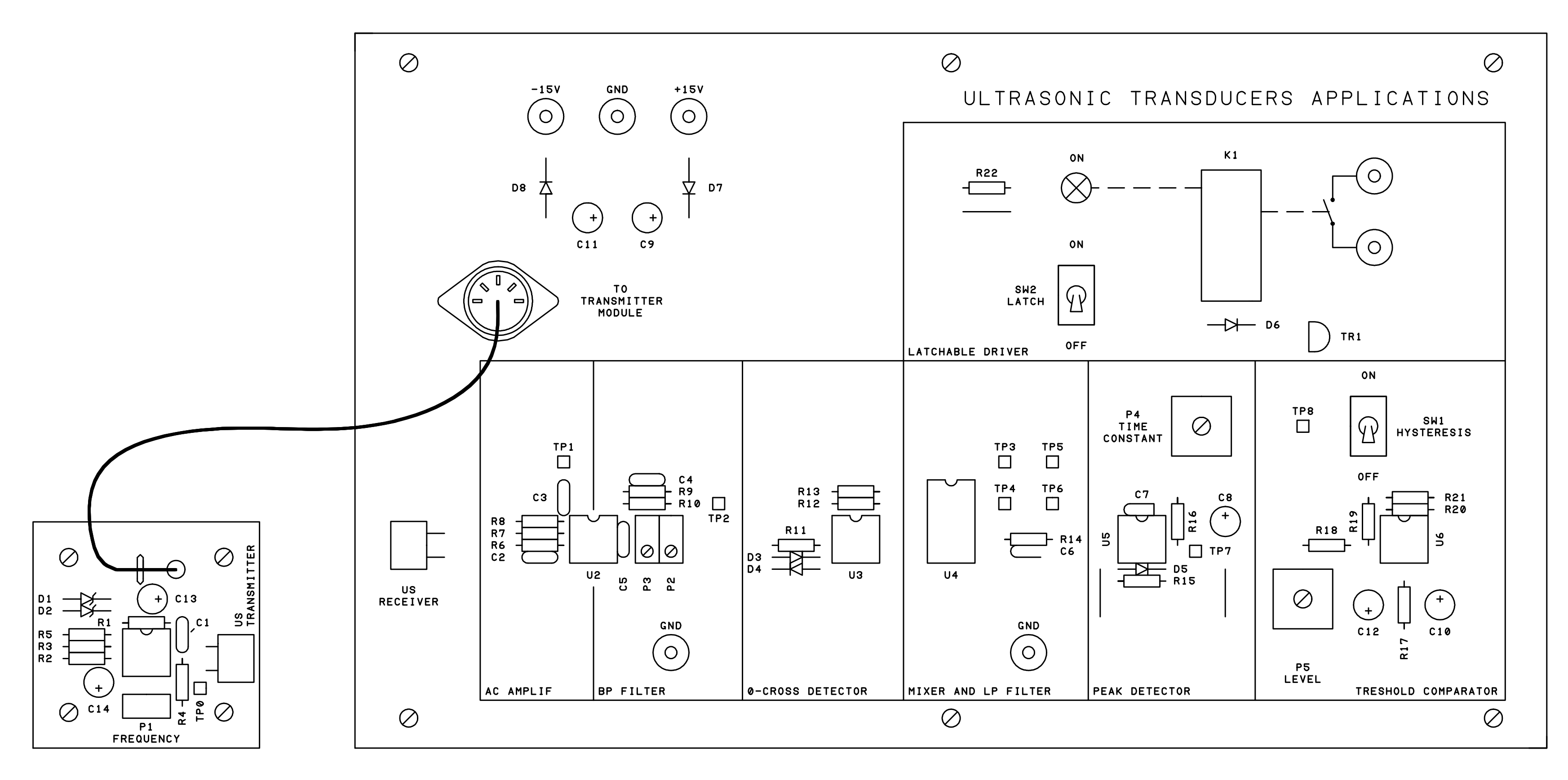


FIG.1 - OUTLINE OF THE PANEL
3510IF1

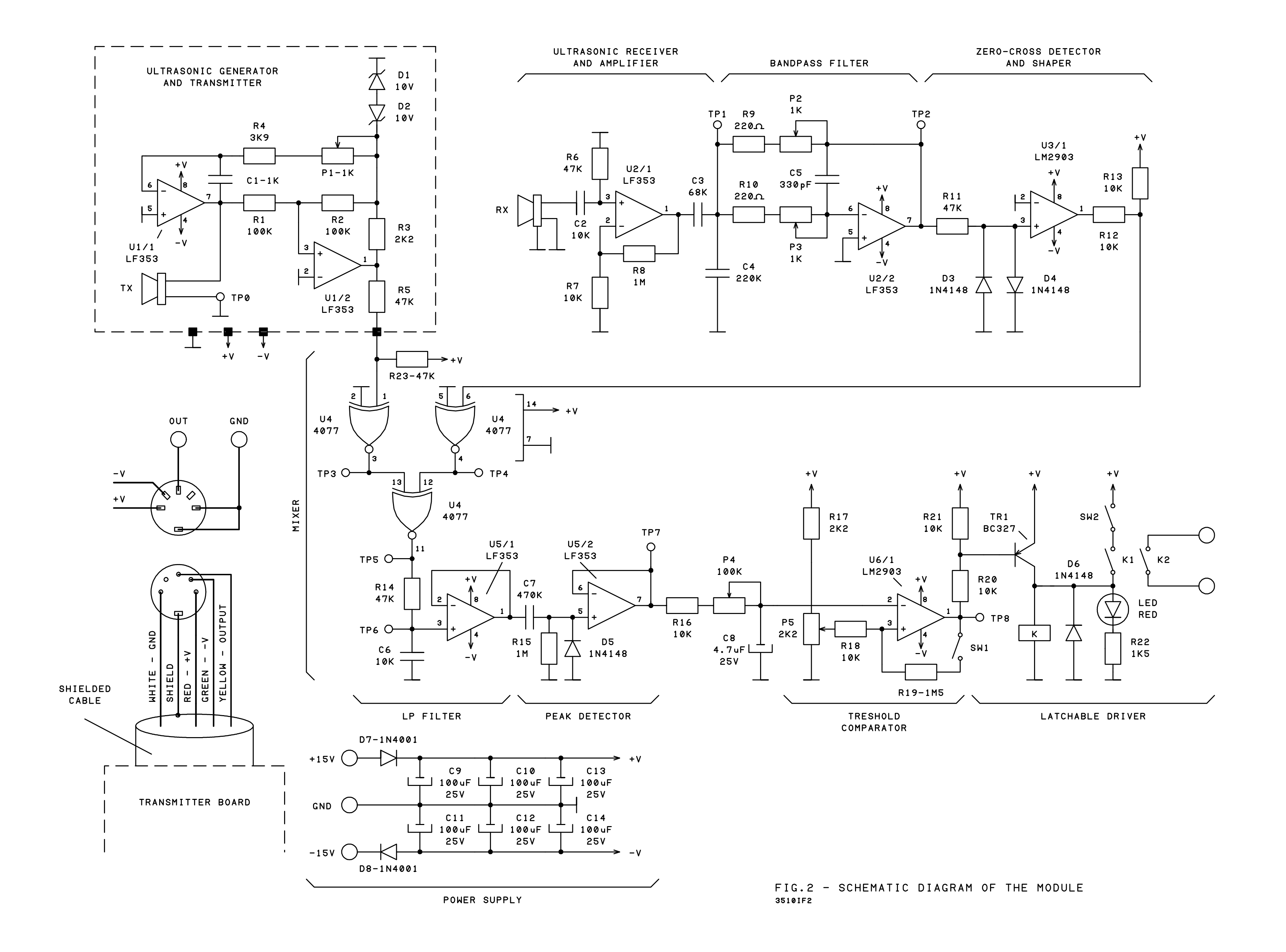


FIG.2 - SCHEMATIC DIAGRAM OF THE MODULE

3510IF2

L'émetteur à ultrasons est monté sur un petit circuit lié au module principal au moyen d'un câble connectorisé. Cela permet l'accès distant de l'émetteur tel que requis pour réaliser certaines expériences.

La capsule émetteur d'US se compose d'un bloc piézo-céramique avec 2 faces parallèles métallisées. Quand une tension est appliquée aux bornes des surfaces métallisées, le matériel piézo-céramique vibre proportionnellement à la tension appliquée.
Ce déplacement mécanique se traduit en une onde ultrasonique par une membrane attachée à l'élément vibrant.

Le récepteur est en principe identique à l'émetteur, puisque l'effet piézo-électrique est réversible, toutefois émetteurs et récepteurs diffèrent en détails de construction, qui spécialisent leur utilisation.

Une description des blocs de la Fig.1 est la suivante (voir fig.1 et 2):

2.1 – LE GENERATEUR D'ULTRASONS.

Ce circuit est monté sur la petite carte, ainsi que la capsule émetteur. Il se compose d'un générateur d'onde triangulaire composé de deux étages, un intégrateur (U1/1) et un comparateur (U1/2).

Le générateur produit une onde d'amplitude constante, environ 20Vpp. La fréquence est réglable par P1.

La fréquence de fonctionnement recommandée pour le système est 40kHz.

Ce module utilise un générateur d'onde triangulaire au lieu d'un générateur sinusoïdal, puisque les générateurs de triangle sont en général plus simples, plus stables et robustes et plus simples de régler l'amplitude et la fréquence.

On peut supposer que l'onde triangulaire appliqué à l'émetteur US soit traduite en une pression acoustique presque sinusoïdale dans l'air. C'est depuis l'élément piézo-céramique filtre toutes les harmoniques tombant à l'extérieur de son domaine de résonance.

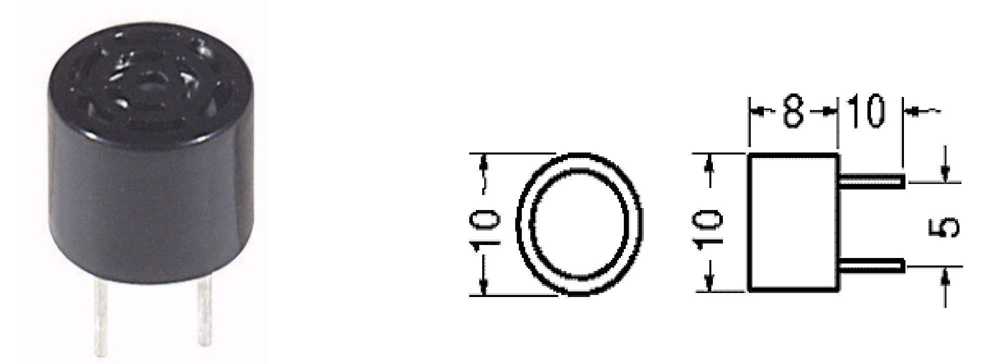


Photo et dessin d'une capsule à ultrasons TX ou RX

2.2 – LE RECEPTEUR A ULTRASONS ET L'AMPLIFICATEUR. Le Récepteur US passe son signal de sortie à U2/1, un amplificateur opérationnel de gain élevé. Son signal de sortie est disponible pour les mesures à TP1.

2.3 – LE FILTRE ACTIF PASSE-BANDE. Le signal sortant de l'amplificateur de réception va à un filtre actif passe-bande équipé d'éléments de réglage (P2 et P3) pour l'accorder sur la fréquence US reçue.
Ce filtre permet la rejection de bruit ambiant éventuellement capté par la capsule de réception. Son gain est intrinsèquement très élevé dans le centre de la bande passante et le signal de sortie (TP2) normalement apparaît comme une onde carrée découpée.

2.4 – LE DETECTEUR DE PASSAGE A ZERO. Cet étage reçoit le signal sortant du filtre passe-bande et produit une onde carrée mise en forme à utiliser dans le suivant Etage Mélangeur.

2.5 – LE MELANGEUR ET LE FILTRE PASSE-BAS. Dans l'étage mélangeur le signal reçu, dûment traité et reconstruit, est comparé en phase à une copie du signal original transmis, pris comme référence.
Les deux signaux sont compatibles aux niveaux CMOS grâce à deux portes numériques.

Le mixage des deux signaux est fait en effectuant un X-OR inversé (Exclusive NOR).

Les propriétés de ce mélangeur sont les suivantes:

Si les signaux mélangés sont égaux en fréquence et ont une différence de phase constante, la sortie est une onde carrée dont le rapport cyclique dépend de la différence de phase même: 0% si les signaux sont en phase et 100% si les signaux sont hors-de-phase de 180 degrés.
Dans tous les cas intermédiaires, le rapport cyclique varie entre 0 et 100%. Ce circuit est pourtant un DEMODULATEUR DE PHASE COHERENT.

La Modulation de Phase et la Modulation de Fréquence sont les deux faces d'une même médaille. Ce circuit en effet fonctionne bien aussi comme un Démodulateur de Fréquence. En d'autres termes ce circuit, suivi d'un filtre passe-bas, produit un niveau de tension dépendant de la différence de phase entre les signaux d'entrée, ou une tension variable (un signal alternatif) dont la fréquence est égale à la différence de fréquence des signaux d'entrée.

Discutons brièvement de l'utilité d'avoir ce mélangeur dans notre application à ultrasons.

Cas 1: l'émetteur rayonne une onde US. Le récepteur est situé à une certaine distance, pointant vers l'émetteur. Le signal reçu sera en retard de phase par rapport au signal transmis à cause du temps de propagation de l'onde (environ 300m/s).

Si l'émetteur et le récepteur sont fixés de manière stable dans leur emplacement, la différence de phase sera constante et le mélangeur fournira une sortie à niveau constant.
Si l'émetteur ou le récepteur se déplacent de son emplacement, ceci générera un changement de phase, par conséquent une sortie c.c. variable dans le mélangeur.
Noter que ce système est extrêmement sensible et permet une mesure précise des distances. Pour se rendre compte, considérer que la longueur de l'onde US de 40kHz dans l'air est:

$$\text{Lambda} = \frac{\text{velocité de propagation de l'onde}}{\text{fréquence de l'onde}} = \frac{300\text{m/s}}{40000\text{Hz}} = 7.5\text{mm}$$

Autrement dit, un changement de juste 7.5mm dans la distance émetteur-récepteur génère un changement de phase de 360 degrés ou deux fois un balayage de sortie de 0-100% à la sortie du mélangeur.
Un mouvement d'une fraction de millimètre serait donc facilement détectable.

Cas 2: l'émetteur et récepteur sont placé de côté. Les deux pointent dans la même direction. Le récepteur ne reçoit pas l'onde directe délivrée par le TX, mais celle réfléchie par une paroi ou un obstacle.
Le moindre mouvement ou vibration survenant dans la zone (émetteur, récepteur, objets réfléchissants) peut être immédiatement détecté par un changement de phase, c'est à dire par un changement de niveau de sortie du mélangeur.

2.6 – LE DETECTEUR DE CRÊTE. Le détecteur de crête prend la sortie du mélangeur/Filtre passe-bas, supprime la composante continue par C7 et rectifie le reste. Le résultat est, à TP7, un grand signal positif variable pour toute variation de phase dans le signal reçu.

2.7 – LE COMPARATEUR A SEUIL. Le Filtre passe-bas composé de P4, C8 lisse et moyenne le signal variable produit par le détecteur de crête. Le but est d'introduire une " vérification de persistance " sur le signal révélant un changement de phase.
Le signal moyenné est comparé à une référence réglable (P5) par le comparateur U6/1. La sortie de celui-ci est un signal d'alarme ON/OFF.

2.8 – LE PILOTE VERROUILLABLE. Le pilote se compose d'un relais avec deux-contacts de commutation (K1).
Le pilote est verrouillable puisque le commutateur SW2 peut être mis ON afin que le relais K1 se verrouille ou "mémorise" l'alarme.
Le verrou peut être réinitialisé par l'ouverture temporaire de SW2.

3 – EXERCICES

3.1 – L'émetteur

- Connecter une alimentation appropriée (+15, -15V stabilisé) au prises P.S. de l'unité (Le B3510-BU est recommandé).

- Brancher le connecteur du câble de la petite carte dans la prise correspondante sur la carte principale.

- Mettre sous tension. Etudier et enregistrer la forme d'onde du signal appliqué à la capsule émetteur (onde triangulaire, 40KHz, et 20Vpp). Faire cela avec l'oscilloscope et le fréquencemètre connectés aux fils de l'émetteur.

- Régler le trimmer déterminant la fréquence (P1) si nécessaire.

3.2 – Phase du signal reçu

- Placer les cartes Emetteur et Récepteur sur le même banc, dirigées l'une vers l'autre à un distance d'au moins 50-70 cm.

- Placer une sonde de l'oscilloscope sur le signal transmis (TP3 de la carte-mère) et l'autre sur le signal reçu (TP1). Trigger sur le premier.

- Observer que la fréquence est la même pour les deux. La phase est considérablement dépendante de tout léger mouvement de l'émetteur et du récepteur.

- Tandis que TX et RX sont encore dirigés l'un vers l'autre, approche la voie de transmission avec un objet ou avec la main. La phase change! La raison en est que l'onde reçue par le RX est une combinaison ou superposition de l'onde directe et de l'onde réfléchie par obstacles voisins.

3.3 – Les principes de la détection de position

- Avec la même organisation comme avant, placer une règle sous la carte TX, alignée avec l'axe TX-RX.
  Enregistrer la différence de phase des signaux comme avant (comparant le signal TX au signal reçu au TP1).

- Déplacer délicatement le TX vers le RX assez pour un changement de phase de 360 degrés. Mesurer le déplacement, et comparer le résultat à la longueur d'onde calculée de 7.5mm.
  Est-ce que cela vous suggère une méthode pour mesurer le déplacement ou, par exemple, le niveau de liquide dans un réservoir?

- Répéter l'observation des changements de phase regardant TP5 (sortie du mélangeur) et TP6 (sortie du filtre passe-bas). Vérifier si vos conclusions sont cohérentes avec les précédentes.

3.4 – Ondes stationnaires

- Pointer l'émetteur vers une paroi à une distance de moins de 2m. Placer le récepteur sur le même banc que l'émetteur, mais cette fois adressé vers l'onde réfléchie, pas vers l'onde directe.
  Observer le signal avec l'oscilloscope au TP1, c'est à dire avant les étages suivants où l'amplitude varie.
  En effet le récepteur percevra les deux signaux, puisque le signal transmis est intense, le signal réfléchi est faible et le récepteur a une modérée capacité de réception vers l'arrière aussi.

  Les ondes se propageant dans la direction avant et arrière, quand simultanément détectées par le récepteur, se combinent dans un signal électrique unique. Le résultat est ce qu'on appelle (peut-être mal dans ce cas) Interférence d'Onde.

- Si nous déplaçons le récepteur légèrement et doucement dans une direction axiale ou dans l'autre, nous recevrons le signal direct et le signal inverse avec des angles de phase différents. Ces signaux superposent leur effet avec résultats différents: dans certain points les ondes ont en opposition de phase et elles se soustraient, en autres points les ondes ont la même phase et par conséquent elles s'additionnent.
  Le résultat est une amplitude ondulante du signal perçu le long du chemin TX-obstacle.
  C'est ce qu'on appelle onde stationnaire.

3.5 – L'effet Doppler

- Place le TX et RX un à côté de l'autre sur le même banc, pointant dans la même direction.
  Place la sonde de l'oscilloscope sur TP6 ou, mieux, à la sortie d'U5/1.
  Positionner vous-même à au moins 1m de TX et RX. Déplacer une main rapidement vers eux. Vous observerez une ondulation du signal sur l'oscilloscope.
  L'amplitude de l'ondulation reste plus ou moins inchangée si la main est déplacée à différente vitesse, mais pas la fréquence du signal ondulation.

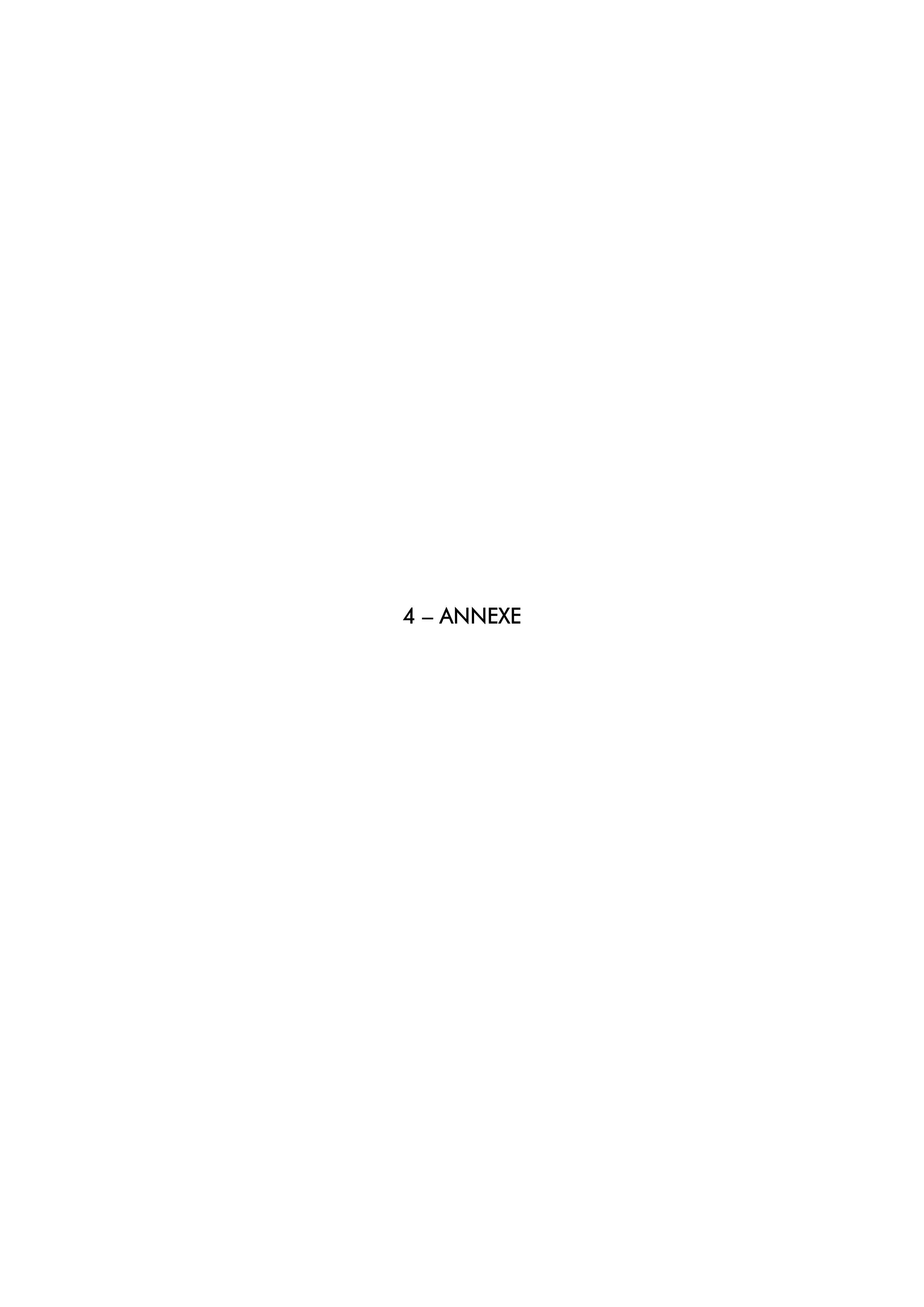
- Comme déjà mentionné, en effet la sortie du mélangeur/détecteur est un niveau continu ou une fréquence c.a. Il s'agit d'un niveau continu quand la différence de phase est constante. Il s'agit d'un signal alternatif quand les fréquences des signaux transmis et reçu sont différentes, comme pour l'effet Doppler.

3.6 – Fonctionnement du système d'alarme

Avec la même disposition comme avant, régler la moyenne de la constante de temps (P4) à mi-chemin. Laisser SW2 ouvert pour le moment (= pas de verrouillage du relais).
Faire bouger un objet dans la zone entourant l'émetteur-récepteur. Régler le seuil de sensibilité (P5) comme désiré.

Quand l'action de verrouillage est désactivée (comme maintenant) vous pouvez insérer une hystérésis dans le comparateur à seuil, par SW1. Cela rend le fonctionnement du comparateur plus stable.
Insérer le contrôle de verrou SW2. Le relais reste ON après activé une fois. Cette fonction permet de "mémoriser" des alarmes.

Le contact non utilisé du relais K1 peut être utilisé pour activer, par exemple, une alarme à distance.



4 – ANNEXE